

# 心脏磁共振在经导管主动脉瓣置入术中的应用

万青 张奇

**【摘要】** 主动脉瓣狭窄是常见的心血管疾病,患者一旦出现临床症状,病情进展迅速。经导管主动脉瓣置入术作为治疗主动脉瓣狭窄的新兴介入技术,已在外科手术高危及禁忌人群中开展。因经导管主动脉瓣置入术为非直视手术,精确的影像学评估尤为重要。心脏磁共振具有高时间、空间分辨率和高组织对比度优势,该文介绍心脏磁共振不同序列在经导管主动脉瓣置入术中的应用。

**【关键词】** 主动脉瓣狭窄;经导管主动脉瓣置入术;心脏磁共振

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2019.04.002

主动脉瓣狭窄是一种进展性心血管疾病,该病潜伏期长,患者一旦出现心悸、胸痛、晕厥等临床症状,病情进展迅速<sup>[1]</sup>,预后极差,若不及时干预,2 年内的病死率高达 50%<sup>[2]</sup>。有症状的主动脉瓣重度狭窄患者尽早手术干预,标准治疗方案为外科主动脉瓣置换术,但约 40% 患者因存在外科手术禁忌证、高龄、左心室功能差及全身多发严重合并症等问题而无法接受外科治疗<sup>[3]</sup>。在此背景下,一种以微创介入技术为依托的瓣膜置入术——经导管主动脉瓣置入术(TAVR)应运而生。然而,由于 TAVR 的非直视特点,影像学评估尤需重视,主要影像学手段包括经胸超声心动图(TTE)、经食管超声心动图(TEE)、多排螺旋计算机断层摄影术(MSCT)、心导管术检查、心脏磁共振(CMR)等<sup>[4]</sup>。

CMR 具有无辐射、可重复性高、空间和时间分辨率高等优势,在瓣膜病变中的应用日益广泛<sup>[5]</sup>。为获得 CMR 的最大影像价值,结合 TAVR 关键评估要点,本文介绍 CMR 在 TAVR 中的应用,为 CMR 磁共振扫描方案及评估模块的制定提供思路。

## 1 TAVR 术前评估

明确主动脉瓣狭窄程度,了解主动脉根部解剖及毗邻结构,不仅可为 TAVR 患者筛选、人工瓣环型号选择提供参考依据,也是手术预判、避免手术严重并发症及保证 TAVR 手术顺利完成的关键步骤。

### 1.1 主动脉瓣狭窄程度评估

CMR 相位流速编码电影(VEC-MR)已广泛应用于主动脉狭窄程度评估。VEC-MR 相对简便、无创,首先定位平行于血流方向的目标平面,估测合适流速编码速度,进一步在主动脉瓣部行垂直血流方向 VEC-MR 扫描。后处理描记感兴趣区,计算相应参数,获得主动脉跨瓣峰值流速及压力阶差以评估狭窄程度<sup>[6]</sup>。研究证实 VEC-MR 测得的压力阶差与超声心动图和心导管检查所测数据的相关性良好<sup>[7]</sup>。主动脉瓣口面积(AVA)评估亦是狭窄程度评判指标之一,Kupfahl 等<sup>[7]</sup>采用 TEE、TTE 及 CMR SSFP 序列行 AVA 测量,对于 AVA ≤ 0.8 cm<sup>2</sup> 的主动脉瓣重度狭窄患者,CMR 检测灵敏度和特异性最高。Pouleur 等<sup>[8]</sup>采用 CMR 稳态自由进动序列(SSFP)测量 AVA 与 MSCT 所测数据相关性较高( $r=0.98$ ,  $P<0.001$ )。

### 1.2 主动脉根部解剖形态评估

主动脉根部影像评估对瓣膜型号选择尤为重要,与超声心动图相比,CMR 在主动脉根部解剖测量中优势明显。尤其是二叶瓣式主动脉瓣(BAV),因瓣环呈椭圆且大小不对称、常合并升主动脉疾病等特殊解剖学特点,导致置入的瓣膜不易完全扩展、贴壁,置入后容易移位,术前判断尤为重要<sup>[9]</sup>。CMR SSFP 序列可从任意角度清晰观察主动脉瓣数目、形态及活动,显示 1 个心动周期内瓣周及毗邻结构,显示升主动脉根部病变情况,包括左室流出道、瓣环、主动脉窦部、窦管交界、升主动脉内径、冠状动脉开口高度。Jabbour 等<sup>[10]</sup>采取 CMR 及 MSCT 测量 133 例拟行 TAVR 的主动脉狭窄患者

基金项目:上海市浦东新区卫生系统重点学科群建设资助(PWZxq2017-05)

作者单位:200120 上海,同济大学附属东方医院心内科

通信作者:张奇,Email:zhangqnq@hotmail.com

的主动脉瓣环、瓦式窦、窦管交界、升主动脉内径,发现两种影像手段检测结果高度一致。CMR 对因存在造影剂肾病风险和肾功能不全而无法行 MSCT 检查的患者是良好的替代方案。非对比增强自导航 3D MR 序列与 MDCT 的评估结果接近<sup>[11]</sup>。

### 1.3 心功能评估

心功能的无创性评估是 TAVR 术前患者筛选和评估预后的重要指标。TAVR 的禁忌证包括左室射血分数 (LVEF) < 20% 及严重右室功能不全<sup>[12]</sup>,术中死亡率高和手术预后差可能与术前未能精确评估心功能有关。目前,常采用超声心动图评估心功能,且 LVEF 是依据几何模型计算得出,对心功能评估存在偏差。CMR 的高重复性及高空间分辨率,可通过电影序列对心腔内外膜逐层勾画,不依赖于几何假设,直接计算心室体积,被认为是左室容积定量评价的“金标准”,可精准提供心脏几何形状、心腔内径、心室质量、心搏出量等重要信息<sup>[13]</sup>。右心室因其形态及结构复杂,无准确几何模型,超声心动图评价较为困难,CMR 电影序列同样可对右心腔多层覆盖扫描,后处理分析可获得相关心功能参数<sup>[14]</sup>。

### 1.4 心肌纤维化检测

主动脉狭窄因心脏压力后负荷持续升高引起心肌细胞代偿性肥大、心肌细胞凋亡和心肌间质纤维化,进一步引起心肌僵硬化程度升高,顺应性下降,继而心脏舒张和收缩功能受损<sup>[15]</sup>。多项研究表明,临床症状出现前患者心肌已发生纤维化,仅依靠临床症状而忽略心肌纤维化进展,往往错失手术最佳时机。CMR 延迟强化 (LGE) 序列能检测心肌纤维化,既往多项研究表明 LGE 阳性是主动脉狭窄患者不良事件的独立预测因子<sup>[15]</sup>。Barone-Rochette 等<sup>[16]</sup>对拟行 TAVR 患者行术前 CMR 检查,术后平均随访 2.9 年,提示 LGE 阳性患者术后全因死亡率和心血管相关疾病死亡率较 LGE 阴性患者明显增高,建议将 LGE 作为 TAVR 的危险分层指标。

心肌发生弥漫性纤维化时因缺乏正常心肌参照,难以通过 LGE 成像进行评估。心肌组织特性定量分析技术——MR 纵向弛豫时间 (T1 mapping) 定量技术和心肌细胞外容积分数 (ECV) 应运而生,可显示心肌弥漫纤维化和心肌浸润<sup>[17]</sup>。T1 mapping 成像和 ECV 可探测心肌早期弥漫性纤维

化,ECV 测得的是心肌和血池增强前后的比值,是一种更为稳定的参数指标。心肌纤维胶原含量是主动脉狭窄患者全因死亡率的独立预测因子,与 TAVR 术后心功能恢复呈负相关。重度主动脉狭窄患者的 T1 值与心肌胶原蛋白量呈正相关,有症状主动脉狭窄患者 T1 值升高更为明显<sup>[18]</sup>。Nadjiri 等<sup>[19]</sup>对 TAVR 术后患者按有无并发症进行分组,比较 ECV 值,发现术后出现传导阻滞组 ECV 值较低,提出 ECV 可能为 TAVR 预后预测指标。ECV 可否作为主动脉瓣狭窄病程进展的参数及 TAVR 术后远期生存不良事件的预测指标尚需进一步研究。

## 2 TAVR 术中应用

有研究使用特殊定制去磁材料在 CMR 实时序列引导下对动物模型实行 TAVR 术<sup>[20]</sup>。在具备多模式影像的杂交手术室,可在 TAVR 术中应用 CMR 实时评估效果并引导手术。但是否存在安全且无磁性的导丝仍有争议。

## 3 TAVR 术后评估

应重视 TAVR 术后合并症的处理和术后患者管理,探索预后指标对及时了解病情变化及手术效果评估尤为重要。

### 3.1 主动脉瓣反流及瓣周漏

TAVR 以保留自身瓣膜并将其贴壁为术式特点,易发生主动脉瓣反流,包括瓣膜中心性反流和瓣周性反流<sup>[21]</sup>。瓣周漏是 TAVR 术后严重并发症之一,70% 的 TAVR 术后患者可出现不同程度瓣周漏。研究表明 TAVR 术后中度及中度以上瓣周漏是近、远期死亡的独立危险因素,明显增加患者再住院率,影响心功能恢复<sup>[22]</sup>。准确评估 TAVR 术后主动脉瓣反流程度,对患者治疗效果评估及随访期间何时再干预尤为重要。VEC-MR 序列以优于超声心动图的准确度和高重复性及对主动脉瓣反流量和反流分数的测定被广泛认可。Crouch 等<sup>[23]</sup>通过 CMR 和 TTE 评估 TAVR 术后主动脉瓣反流,提出 TTE 易低估反流程度,TTE 诊断的轻度主动脉瓣反流可能已达到中度或中度以上。Hartlage 等<sup>[24]</sup>通过 VEC-MR 和 TTE 对 TAVR 术后瓣周漏患者反流程度进行测定,根据 CMR 测得的主动脉瓣反流分数对 TTE 评估的等级重新划分,发现依据 CMR 测得结果而划分的轻度以上瓣周漏不良事件的发生率更高。上述研究也在某种程度上解释了 2015 年 PARTNER 研究的结果<sup>[25]</sup>,超声心动图

评估的轻度瓣周漏患者却有较高的死亡率,进一步表明 CMR 在 PVL 评估中的预后价值。

### 3.2 术后心肌损伤

TAVR 术后心肌损伤发生率可高达 59%, 心肌损伤与术后 9 个月患者死亡率升高相关<sup>[26]</sup>。目前延迟增强(LGE-MRI)被广泛应用于评价心肌梗死和检测疤痕组织。Kim 等<sup>[27]</sup>对患者 TAVR 术前和术后行 CMR 检查, 术后新发延迟强化者出院时 LVEF 降低, 无新发延迟强化者未发现显著心功能变化。及时发现围手术期心肌损伤对制定预防策略、采取针对性治疗有重要作用, TAVR 术后 CMR 检查也被多中心建议。

## 4 新序列与新技术在 TAVR 中的应用

### 4.1 组织追踪技术

基于 SSFP 序列发展而来的心脏磁共振组织追踪技术(CMR-TT)通过计算心肌组织在一定时间内位移并对心肌运动速度进行积分, 可获得纵向、径向及周向力度参数(如应变、应变率、运动速度及扭转), 从力学角度分析局部及整体心脏运动<sup>[28]</sup>, 与心脏超声斑点追踪技术(STE)类似, 均对检测心脏运动功能异常更为敏感。重度主动脉瓣狭窄患者长期左室负荷过重, 导致心肌肥厚和舒张功能减低。约 50% 的重度主动脉瓣狭窄患者 LVEF 尚可维持在正常范围内, 但心肌应变及应变率的下降均提示心肌功能已受损。当 LVEF 正常时, 精确的心功能评估对选择 TAVR 最佳时间和术后心功能恢复有重要意义<sup>[29]</sup>。既往研究采用 STE 对 TAVR 术前及术后心脏形变进行分析, 有研究表明 TAVR 术后左室整体纵向应变数值提升 3.3%, 提示患者预后良好<sup>[30]</sup>。CMR-TT 较 STE 具有更高重复性, 但目前对 TAVR 的相关研究较少。

### 4.2 4D 磁共振血流成像

4D 磁共振血流成像是一种可对心脏及大血管内血流情况进行定量分析的三维三方向采集技术, 可测量扫描范围内血流速度、剪切力等参数, 并以彩色血流立体图展示复杂流动模式, 弥补了 CMR 在血流动力学评估中不够直观的缺点<sup>[31]</sup>, 其在 BAV 畸形与升主动脉血流动力学关系中的评估成为热点。Hope 等<sup>[32]</sup>通过 4D 磁共振血流成像发现 BAV 患者升主动脉收缩期血流成异常螺旋。张超越等<sup>[33]</sup>发现 BAV 患者中血流模式为右手螺旋涡流及复杂涡流时易引起升主动脉扩张。有小样本研究将 4D 磁共振血流成像对 TAVR 术后患者和健

康人群的升主动脉血流模式进行对比, 发现 TAVR 术后升主动脉以上存在明显异常螺旋涡流并伴有不对称壁面切应力<sup>[34]</sup>, 其是否对患者预后及术后远期并发症有预测意义, 尚需进一步研究。

TAVR 已日趋成熟, 多模态多序列影像的术前评估是手术顺利开展的重要保障。随着影像学技术的不断完善和发展, TAVR 术前影像评估将更加细致和模块化。在临床工作中, 应充分应用 CMR 不同序列的评估指标, 以实现该影像技术的最大价值。

## 参 考 文 献

- [1] Joseph J, Naqvi SY, Giri J, et al. Aortic stenosis: pathophysiology, diagnosis, and therapy[J]. Am J Med, 2017, 130(3):253-263.
- [2] Miller JG, Li M, Mazilu D, et al. Real-time magnetic resonance imaging-guided transcatheter aortic valve replacement[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2016, 151(5):1269-1277.
- [3] Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: the task force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)[J]. Eur Heart J, 2017, 38(10):2697-2717.
- [4] Otto CM, Kumbhani DJ, Alexander KP, et al. 2017 ACC expert consensus decision pathway for transcatheter aortic valve replacement in the management of adults with aortic stenosis: a report of the American College of Cardiology task force on clinical expert consensus documents[J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69(10):1313-1346.
- [5] Gulsin GS, Singh A, McCann GP. Cardiovascular magnetic resonance in the evaluation of heart valve disease[J]. BMC Med Imaging, 2017, 17(1):67.
- [6] Steffens JC, Bourne MW, Sakuma H, et al. Quantification of collateral blood flow in coarctation of the aorta by velocity encoded cine magnetic resonance imaging[J]. Circulation, 1994, 90(2):937-943.
- [7] Kupfahl C, Honold M, Meinhardt G, et al. Evaluation of aortic stenosis by cardiovascular magnetic resonance imaging: comparison with established routine clinical techniques[J]. Heart, 2004, 90(8):893-901.
- [8] Pouleur AC, le Polain de Waroux JB, Pasquet A, et al. Aortic valve area assessment: multidetector CT compared with cine MR imaging and transthoracic and transesophageal echocardiography[J]. Radiology, 2007, 244(3):745-754.
- [9] Phan K, Wong S, Phan S, et al. Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) in patients with bicuspid aortic valve stenosis-systematic review and meta-analysis[J]. Heart Lung Circ, 2015, 24(7):649-659.
- [10] Jabbour A, Ismail TF, Moat N, et al. Multimodality

- imaging in transcatheter aortic valve implantation and post-procedural aortic regurgitation: comparison among cardiovascular magnetic resonance, cardiac computed tomography, and echocardiography[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(21):2165-2173.
- [11] Renker M, Varga-Szemes A, Schoepf UJ, et al. A non-contrast self-navigated 3-dimensional MR technique for aortic root and vascular access route assessment in the context of transcatheter aortic valve replacement: proof of concept[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(4):951-958.
- [12] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会,中华医学会心血管病学分会结构性心脏病学组. 经导管主动脉瓣置换术中国专家共识[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2015, 23(12):661-667.
- [13] Gonzalez JA, Kramer CM. Role of imaging techniques for diagnosis, prognosis and management of heart failure patients: cardiac magnetic resonance[J]. *Curr Heart Fail Rep*, 2015, 12(4):276-283.
- [14] Fairbairn TA, Motwani M, Greenwood JP, et al. CMR for the diagnosis of right heart disease[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(2):227-229.
- [15] Chin CWL, Everett RJ, Kwiecinski J, et al. Myocardial fibrosis and cardiac decompensation in aortic stenosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(11):1320-1333.
- [16] Barone-Rochette G, Piérard S, De Meester de Ravenstein C, et al. Prognostic significance of LGE by CMR in aortic stenosis patients undergoing valve replacement[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(2):144-154.
- [17] Haaf P, Garg P, Messroghli DR, et al. Cardiac T1 mapping and extracellular volume (ECV) in clinical practice: a comprehensive review[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016, 18(1):89.
- [18] Fehrman A, Treutlein M, Rudolph T, et al. Myocardial T1 and T2 mapping in severe aortic stenosis: potential novel insights into the pathophysiology of myocardial remodelling[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 107(1):76-83.
- [19] Nadjiri J, Niebler H, Hendrich E, et al. Prognostic value of T1-mapping in TAVR patients: extra-cellular volume as a possible predictor for peri-and post-TAVR adverse events[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(11):1625-1633.
- [20] Kahlert P, Parohl N, Albert J, et al. Towards real-time cardiovascular magnetic resonance guided transarterial CoreValve implantation: in vivo evaluation in swine[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012, 14(1):21.
- [21] Abdel-Wahab M, Abdelghani M, Miyazaki Y, et al. A novel angiographic quantification of aortic regurgitation after TAVR provides an accurate estimation of regurgitation fraction derived from cardiac magnetic resonance imaging[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11(3):287-297.
- [22] Kodali S, Hahn R, Williams M, et al. Impact of paravalvular leak following transcatheter aortic valve replacement on one-year mortality: analysis of the combined PARTNER cohorts [J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(Suppl 1):2584.
- [23] Crouch G, Tully PJ, Bennetts J, et al. Quantitative assessment of paravalvular regurgitation following transcatheter aortic valve replacement[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2015, 17(1):32.
- [24] Hartlage GR, Babaliaros VC, Thourani VH, et al. The role of cardiovascular magnetic resonance in stratifying paravalvular leak severity after transcatheter aortic valve replacement: an observational outcome study [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014, 16(1):93.
- [25] Mack MJ, Leon MB, Smith CR, et al. 5-year outcomes of transcatheter aortic valve replacement or surgical aortic valve replacement for high surgical risk patients with aortic stenosis (PARTNER 1): a randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2015, 385(9986):2477-2484.
- [26] Rodés-Cabau J, Gutiérrez M, Bagur R, et al. Incidence, predictive factors, and prognostic value of myocardial injury following uncomplicated transcatheter aortic valve implantation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 57 (20): 1988-1999.
- [27] Kim WK, Rolf A, Liebetrau C, et al. Detection of myocardial injury by CMR after transcatheter aortic valve replacement[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(4):349-357.
- [28] Truong VT, Safdar KS, Kalra DK, et al. Cardiac magnetic resonance tissue tracking in right ventricle: feasibility and normal values [J]. *Magn Reson Imaging*, 2017, 38 (1): 189-195.
- [29] Kearney LG, Ord M, Matalanis G, et al. Global longitudinal strain is a strong independent predictor of all-cause mortality in patients with aortic stenosis[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012, 13(10):827-833.
- [30] Garg V, Ho JK, Vorobiof G. Changes in myocardial deformation after transcatheter and surgical aortic valve replacement[J]. *Echocardiography*, 2017, 34(4):603-613.
- [31] Rodriguez-Palomares JF, Dux-Santoy L, Guala A, et al. Aortic flow patterns and wall shear stress maps by 4D-flow cardiovascular magnetic resonance in the assessment of aortic dilatation in bicuspid aortic valve disease[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2018, 20(1):28.
- [32] Hope MD, Hope TA, Meadows AK, et al. Bicuspid aortic valve: four-dimensional MR evaluation of ascending aortic systolic flow patterns[J]. *Radiology*, 2010, 255(1):53-61.
- [33] 张超越, 张楠, 李宇, 等. 主动脉瓣二瓣畸形升主动脉血流动力学变化的 4D 磁共振血流动力学对比研究[J]. *心肺血管病杂志*, 2017, 36(7):564-568.
- [34] Trauzeddel RF, Löbe U, Barker AJ, et al. Blood flow characteristics in the ascending aorta after TAVI compared to surgical aortic valve replacement [J]. *Intl J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(3):461-467.

(收稿:2019-02-16 修回:2019-05-20)

(本文编辑:丁媛媛)